

что примерно в 2 раза выше начальной деформации. В связи с малым количеством образцов, испытанных на растяжение, реологические характеристики при этом виде напряженного состояния будут определены после окончания испытаний дополнительной серии образцов.

Проведенные исследования показали, что длительное воздействие нагрузок оказывает существенное влияние на снижение кратковременных прочностных и деформационных характеристик плит на основе рисовой соломы. Это необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций с применением данного материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные материалы и конструкции на основе рисовой соломы / Насонов В.Н., Расс Ф.В., Суровова Л.В. и др. — Труды ЦНИИСК. Научные исследования в области повышения качества ограждающих слоистых конструкций, 1981.
2. Бартенев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение viscoelastic materials. — М.-Л., 1964.

УДК 674.817-41

Н.В.Липцев, Е.И.Мозалевская  
(Ленинградская лесотехническая академия)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОСИНОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Доля осиновой древесины в сырьевом балансе производства древесноволокнистых плит непрерывно растет. По своим свойствам она отличается от используемой до настоящего времени древесины хвойных пород и березы. Однако её поведение

в процессах большинства технологических операций получения плит недостаточно изучено. Предразмольная гидротермическая обработка определяет состояние вязко-упругих свойств древесины, характеризующих её способность к размолу. Целью данной работы являлось изучение кинетики гидротермической обработки осиновой древесины с преимущественным охватом области температур, применяемых в производстве древесноволокнистых плит, и сравнение результатов исследований с аналогичными для сосновой и березовой древесины.

Исследование изменения вязко-упругих свойств осиновой древесины в процессе гидротермической обработки насыщенным водяным паром проводилось неразрушающим методом свободных крутильных колебаний с определением динамического модуля сдвига  $G$  и логарифмического декремента колебаний  $\Delta$  [1]. Исследовался интервал температур обработки 20...170 °C с продолжительностью 0...128 мин. Плотность осиновой древесины составляла  $\rho_0 = 430 \pm 5$  кг/м<sup>3</sup>, влажность перед испытанием  $W_0 = 40\%$ , т.е. выше предела гигроскопичности. Полученные результаты представлены в табл.1,2 и на рис.1-5.

Как видно из рис.1, у осиновой древесины наблюдаются два релаксационных перехода при температурах 105...110 °C и 150...155 °C. Если сопоставить полученные данные с аналогичными для сосновой и березовой древесины [2] (см.рис.1), то можно отметить, что температура первого релаксационного перехода у осиновой древесины выше, чем у сосновой (100 °C) и березовой (90 °C). Температура второго релаксационного перехода, наоборот, ниже. Осиновая древесина при испытаниях на сдвиг поперек волокон обладает наиболее коротким температурным интервалом высокоэластического состояния 110...150 °C (всего 40 °C). С точки зрения выбора оптимальной температуры гидротермической обработки для производства древесноволокнистой массы такой температурой, по-видимому, будет 160...170 °C, т.е. температура, находящаяся непосредственно за областью высокоэластического состояния. При более высоких температурах происходит разрушение структуры древесины, сопровождающееся быстрым возрастанием декремента колебаний (рис.1).

В табл.1 приведены показатели относительного динамичес-

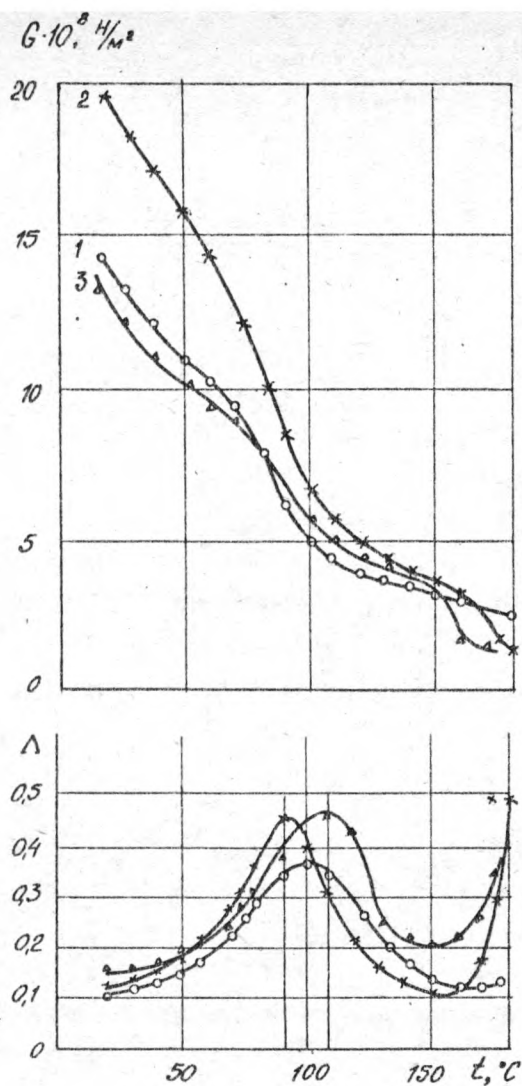


Рис.1. Зависимость динамического модуля сдвига и логарифмического декремента колебаний древесины от температуры гидротермической обработки:

1 - сосна; 2 - береза; 3 - осина

Таблица 1

Показатели динамического модуля сдвига осиновой  
древесины\*

Тем- пе- ра- тура, °C	$G_0$ , %	Время, мин							$G_p$ , %
		2	4	8	16	32	64	128	
20	100,00	97,95	96,84	94,93	92,35	88,13	88,13	88,01	86,47
40	77,43	76,82	75,96	74,55	71,84	71,44	71,44	71,40	70,81
60	75,53	73,55	72,78	70,50	67,94	66,00	65,83	65,83	65,32
70	65,46	63,91	62,54	60,57	58,46	56,70	56,70	56,70	56,21
80	57,81	54,13	50,05	45,63	45,03	44,60	44,60	44,60	44,60
90	50,72	49,21	47,90	46,66	45,36	44,55	44,50	44,50	44,50
110	35,13	32,19	31,59	31,00	33,59	33,59	31,59	31,29	33,59
120	32,94	33,41	34,03	36,01	38,49	39,92	38,88	38,88	39,92
130	30,44	26,49	29,84	34,15	40,23	47,23	50,34	45,72	50,30
140	28,41	27,62	26,47	25,41	24,56	24,19	24,19	-	24,16
150	26,90	24,75	23,98	22,41	21,42	-	-	-	21,15
160	16,19	11,53	10,21	8,47	6,51	-	-	-	6,32
170	14,91	13,51	11,80	8,07	6,29	-	-	-	6,02

\* Здесь и далее подразумевается относительный модуль сдвига, т.е. модуль сдвига в процентах по отношению к исходному его значению при 20°C.

кого модуля сдвига, полученные при различных температурах и продолжительности гидротермической обработки. В интервале температур  $20...80^{\circ}\text{C}$  и  $140...170^{\circ}\text{C}$  увеличение продолжительности обработки ведет к монотонному снижению показателей модуля сдвига, стремясь к равновесному значению  $G_p$  при бесконечном увеличении продолжительности. В промежуточном интервале температур ( $80...130^{\circ}\text{C}$ ) модуль сдвига возрастает с увеличением выдержки, указывая на изменение структурного состояния лигноподобных веществ древесины в сторону упрочнения, предшествующего их размягчению [3]. Диапазон температур  $80...130^{\circ}\text{C}$  соответствует области перехода лигнина из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Максимальное увеличение упругих свойств осиновой древесины достигается, как и у березовой древесины [4], при температуре  $130^{\circ}\text{C}$  (рис.2).

Монотонное понижение упругих свойств древесины в интервалах температур  $20...80^{\circ}$  и  $140...170^{\circ}\text{C}$  позволяет рассчитать кинетику их изменения в процессе гидротермической обработки. Кинетику изменения модуля сдвига удобно характеризовать с помощью коэффициентов переноса (например, эффективного коэффициента диффузии,  $D_{эф}$ ) и расчетом по их показателям энергии активации процесса. На рис.3 представлено изменение  $D_{эф}$  от температуры обработки, рассчитанного деформационным методом [5] в применении к нашим условиям [6]. Показатели эффективного коэффициента диффузии непрерывно возрастают с ростом температуры от  $2,15 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  при  $20^{\circ}\text{C}$  до  $8,45 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$  при  $160^{\circ}\text{C}$ . Этому изменению соответствуют два участка с различными энергиями активации:  $5,94 \text{ кДж/моль}$  в интервале  $20...80^{\circ}\text{C}$  и  $28,8 \text{ кДж/моль}$  для  $140...170^{\circ}\text{C}$ . Показатели энергии активации диффузионного процесса у осиновой древесины выше, чем у сосновой и березовой, что указывает на большую доступность температурному воздействию [4].

Для технологии гидротермической обработки древесины интерес представляет определение её продолжительности при разных температурах для заданного снижения упругих свойств, т.е., пользуясь термином из механики полимеров, нахождение функции температурного сдвига [7]. Решение поставленной задачи находится из графика (рис.4), где представлены кривые изотермоупругости.

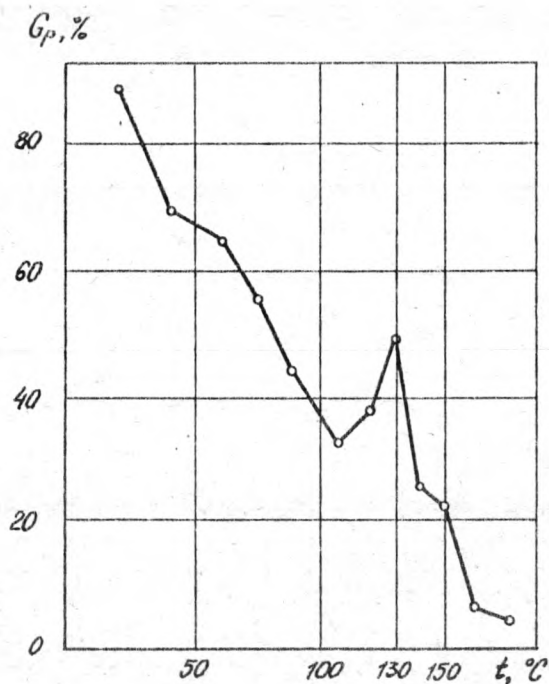


Рис.2. Зависимость равновесного модуля сдвига осиновой древесины от температуры гидротермической обработки

сти осиновой древесины для интервалов температур 20...80 и 140...170°C. Приведенные кривые аппроксимируются функцией вида:

$$t = t_0 + \frac{K}{\tau}, \quad (1)$$

где  $t$  - искомая температура, °C;  $t_0$  - предельная (равновесная) температура, °C;  $\tau$  - время, мин;  $K$  - коэффициент пропорциональности, град.мин.

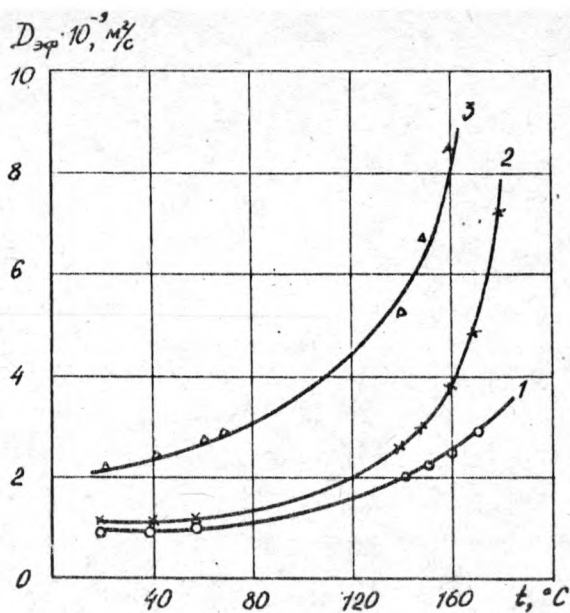


Рис.3. Зависимость эффективного коэффициента диффузии от температуры гидротермической обработки древесины:  
1 - сосна; 2 - береза; 3 - осина

Предельная температура для кривой изоупругости соответствует самой низкой температуре, на которой при бесконечном увеличении продолжительности обработки возможно достижение заданного падения упругих свойств древесины. Для каждого состояния упруго-вязких свойств древесины имеется своя функция температурного сдвига, отличающаяся значениями коэффициентов. И предельная температура, и коэффициент пропорциональности зависят от величины снижения упругих свойств древесины. Нахождение указанных зависимостей проведено графо-аналитическим методом [8]. Предельная температура  $t_0$  зависит от величины  $\Delta G$  согласно следующим выражениям:

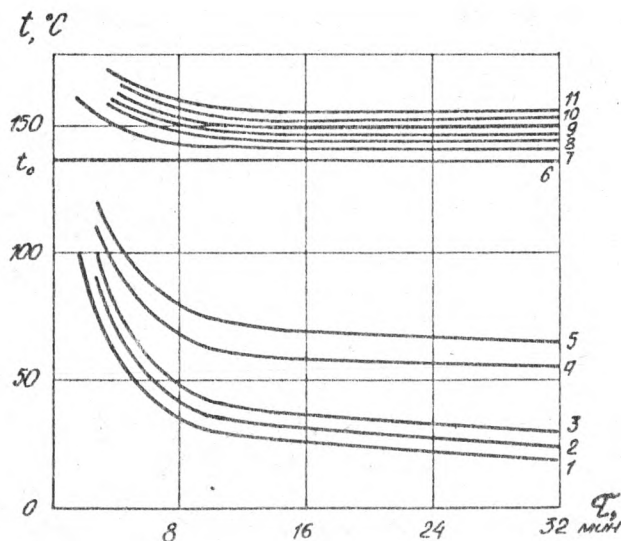


Рис.4. Кривые изоупругости гидротермической обработки осиновой древесины:

- 1 -  $\Delta G = 10\%$ ; 5 -  $\Delta G = 40\%$ ; 9 -  $\Delta G = 82,5\%$ ;  
 2 -  $\Delta G = 15\%$ ; 6 -  $\Delta G = 75\%$ ; 10 -  $\Delta G = 85\%$ ;  
 3 -  $\Delta G = 20\%$ ; 7 -  $\Delta G = 78\%$ ; 11 -  $\Delta G = 90\%$ ;  
 4 -  $\Delta G = 30\%$ ; 8 -  $\Delta G = 80\%$ ;

для  $\Delta G = 5-30\%$   $t_0 = 575 - 125,0 \lg n / 100 - \Delta G /$ ;  
 для  $\Delta G = 35-90\%$   $t_0 = 296 - 50,0 \lg n / 100 - \Delta G /$ ; (2)  
 для  $\Delta G = 95\%$   $t_0 = 185 - 13,9 \lg n / 100 - \Delta G /$ ,  
 где  $\Delta G = 100 - G_{\text{отн.}}, \%$ .

Коэффициент пропорциональности  $K$  зависит от  $\Delta G$  согласно выражению

$$K = 201 - 1,94 \Delta G. \quad (3)$$

В выражении (1) величина  $\tau$  представляет общее время выдержки древесины при данной температуре и включает время,



приведенное в табл.1, и дополнительное время  $\tau_0$ , обусловленное скоростью нагревания автоклава. Чем выше предельная температура, тем меньше влияние скорости нагревания на изменение модуля сдвига, тем меньше  $\tau_0$ . Оно зависит от величины снижения модуля сдвига согласно выражению

$$\tau_0 = 10,6 - 0,109 \Delta G \quad \text{мин.} \quad (4)$$

Необходимую продолжительность гидротермической обработки осиновой древесины при требуемой температуре находим из выражения (1) после подстановки в него выражений (2,3). Эмпирическое выражение для области предельных температур 120...150°C, применяемых в производстве древесноволокнистых плит, составило

$$\tau = \frac{201 - 1,94 \Delta G}{t - 296 + 50,0 \ln/100 - \Delta G/} \quad \text{мин.} \quad (5)$$

Для удобства использования полученных зависимостей их можно выразить в виде прямых линий, построив диаграмму  $\tau : \Theta$  (рис.5), где безразмерная температура  $\Theta = \frac{t_0}{t - t_0}$ . Каждому значению снижения относительного модуля сдвига соответствует прямая, исходящая из начала координат. Двигаясь по ним, можно определить продолжительность гидротермической обработки при любой температуре с сохранением требуемого уровня упругих свойств древесины. Значения предельной температуры  $t_0$  приведены в табл.2 и могут быть рассчитаны по выражению (2).

В табл.2 приведены также результаты определения расчетных тепловых затрат на требуемое снижение влако-упругих свойств осиновой древесины путем гидротермической обработки. Методика расчета изложена в работе [8]. Общий расход тепла на обработку осиновой древесины находится в линейной зависимости от величины снижения упругих свойств древесины:

$$Q = 6,25 \Delta G, \quad (6)$$

где  $Q$  - общий расход тепла на обработку древесины, кДж/кг.

Возвращаясь к рис.1, можно уточнить оптимальную температуру гидротермической обработки осиновой древесины для производства древесноволокнистой массы. Ранее проведенными исследованиями были определены оптимальные температуры при

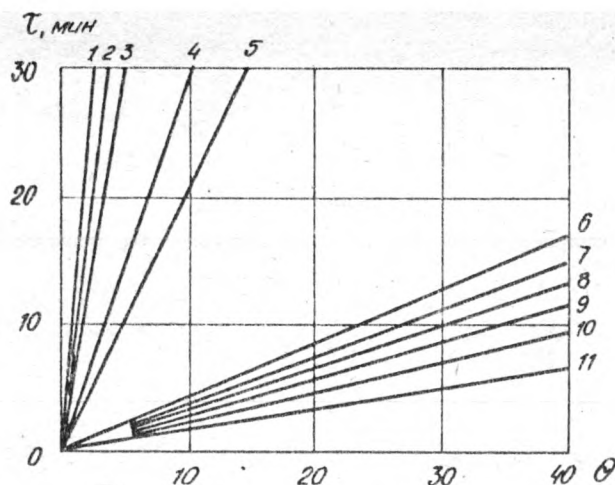


Рис.5. Диаграмма определения температуры и продолжительности гидротермической обработки осиновой древесины для заданного снижения упругих свойств древесины :

- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1 - $\Delta G = 10\%$ ; | 7 - $\Delta G = 78\%$ ;   |
| 2 - $\Delta G = 15\%$ ; | 8 - $\Delta G = 80\%$ ;   |
| 3 - $\Delta G = 20\%$ ; | 9 - $\Delta G = 82,5\%$ ; |
| 4 - $\Delta G = 30\%$ ; | 10 - $\Delta G = 85\%$ ;  |
| 5 - $\Delta G = 40\%$ ; | 11 - $\Delta G = 90\%$ ;  |
| 6 - $\Delta G = 75\%$ ; |                           |

одноминутном пропаривании для сосновой и березовой древесины [9]. Они составляют соответственно 180 и 190°C. С учетом времени  $\tau_0$  этим режимам на графике рис.1 будут соответствовать температуры 170 и 180°C. Показатели динамического модуля сдвига сосновой и березовой древесины, соответствующие указанным температурам, находятся на одном уровне, ниже  $3 \cdot 10^9$  Н/м<sup>2</sup>. Для осиновой древесины эти показатели достигаются при 160°C и продолжительности пропаривания с учетом  $\tau_0$ , равной 1,3 мин. По-видимому, это и будет оптимальным режимом

Таблица 2

## Тепловые свойства осиновой древесины

$\Delta G,$ %	$\tau_0,$ мин	$K,$ град·мин	$t_0,$ °C	$Q,$ кДж/кг
10	9,51	182	14	-
15	9,00	172	20	-
20	8,42	162	26	129
30	7,33	143	47	187
40	6,24	123	61	227
75	2,50	56	135	470
78	2,20	51	140	491
80	1,88	46	146	513
82,5	1,60	41	148	523
85	1,34	36	150	530
90	0,79	26	155	550

гидротермической обработки осиновой древесины для производства древесноволокнистой массы. На диаграмме (рис.5) этому условию соответствует прямая 10 с показателями  $\tau_0 = 150^\circ\text{C}$  и  $\Delta G = 85\%$ .

### В ы в о д ы

- Осиновая древесина менее устойчива к тепловому воздействию в сравнении с сосновой и березовой древесиной и обладает наименьшим температурным интервалом области высокоэластического состояния (110...150 °C). Коэффициент переноса  $D_{эф}$  у осиновой древесины в 2-2,5 раза выше, чем у сосновой и березовой древесины.
- Оптимальным режимом гидротермической обработки осиновой

древесины для производства древесноволокнистой массы являются температура 160-170°C, продолжительность 0,8-1,5 мин. Расход тепловой энергии на проведение обработки в оптимальном режиме составляет ~530 кДж/кг. Построена диаграмма для определения температуры и продолжительности обработки осиновой древесины при изменении одного из указанных параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чибирев В.Е., Липцев Н.В. Исследование изменения вязко-упругих свойств древесины в процессе гидротермической обработки применительно к производству древесноволокнистых плит. - В кн.: Технологии древесных плит и пластиков. Свердловск, 1978 (Междуз. сб., вып.5).
2. Ерыхов Б.П., Липцев Н.В., Чибирев В.Е. Исследование вязко-упругих свойств древесины применительно к размолу щепы. - Лесной журнал, 1979, № 4.
3. Гравитис Л.А., Эриньш П.П., Цините В.А. Исследование образования и строения лигнина на основе закономерностей, общих для сетчатых полимеров. - Химия древесины, 1976, № 2.
4. Ерыхов Б.П., Липцев Н.В., Чибирев В.Е. Применение метода крутильных колебаний для определения эффективного коэффициента диффузии при гидротермической обработке древесины. - Лесной журнал, 1980, № 3.
5. Иванов Ю.М. Диффузия в клеточные оболочки древесины. - В кн.: Древесиноведение и защита древесины. М., 1963.
6. Липцев Н.В., Чибирев В.Е. Определение характеристик диффузионного процесса при гидротермической обработке древесины применительно к производству древесноволокнистых плит. - В кн.: Технология древесных плит и пластиков. Свердловск, 1980 (Междуз. сб., вып.7).
7. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация. - М., 1976.
8. Липцев Н.В., Чибирев В.Е. О температурно-временной эквивалентности гидротермической обработки сосновой древесины в производстве древесноволокнистых плит. - В кн.: Химическая и механическая переработка древесины и древесных отходов. Л., 1979 (Междуз. сб.).